



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년02월14일
(11) 등록번호 10-1363377
(24) 등록일자 2014년02월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/20 (2006.01) H01L 33/00 (2010.01)
B82Y 40/00 (2011.01)
(21) 출원번호 10-2004-7016456
(22) 출원일자(국제) 2003년04월15일
심사청구일자 2008년04월14일
(85) 번역문제출일자 2004년10월14일
(65) 공개번호 10-2005-0000511
(43) 공개일자 2005년01월05일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/011177
(87) 국제공개번호 WO 2003/089696
국제공개일자 2003년10월30일
(30) 우선권주장
60/372,909 2002년04월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP03003233 A
JP11191657 A
전체 청구항 수 : 총 30 항

(73) 특허권자
더 리전츠 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아
미국 캘리포니아주 94607 오클랜드 프랭클린 스트리트 1111 12층
(72) 발명자
크레이븐, 마이클디.
미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 디어허스트 드라이브 68 1/2
덴바아아스, 스티븐피.
미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 킹 다니엘 레인 287
스펙, 제임스에스.
미국, 캘리포니아주 93117, 골레타, 웨스트 캠퍼스 레인 947
(74) 대리인
이원희

심사관 : 오창석

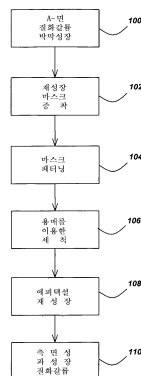
(54) 발명의 명칭 무극성 질화 갈륨 박막의 전위 감소

(57) 요약

무극성 (1120)a-면 GaN 시드 층의 측면 에피택셜 과성장층은 GaN 막의 실전위를 감소시킨다. 첫째로, 얇게 패터닝된 유전성 마스크가 상기 시드 층에 적용된다. 두번째로, 선택성 에피택셜 재성장층이 상기 패터닝된 마스크에 기반을 둔 측면성 과성장층을 달성하기 위해 수행된다. 재성장층이 되면, 상기 GaN 막이 상기 유전성 마스크의 개구부를 통해 수직으로 성장하게 되고, 그 후 상기 수직 성장 방향에 횡적인 방향으로 상기 마스크를 측면으로 과성장시킨다. 실전위는 (1) 상기 성장 막으로의 수직적인 전위의 전달을 블로킹하는 마스크 및 (2) 수직으로부터 측면성장까지의 전위를 통한 전위 구부러짐에 의해 상기 과성장 영역에서 감소된다.

본 발명은 캘리포니아대 산타 바바라 고체 조명 및 디스플레이 연구소(SSLDC)의 회원사인 스탠리 전자(Stanley Electric Co., Ltd.), 미쓰비시 화학(Mitsubishi Chemical Corp.), 로움 전자(Rohm, Co., Ltd.), 크리(Cree, Inc.), 마쓰시다 전공(Matsushita Electric Works), 마쓰시다 전기(Matsushita Electric Industrial Co.), 및 서울 반도체(Seoul Semiconductor Co., Ltd.)의 지원을 받아 이루어졌다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

(a) r-면 사파이어 기판상에서 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)에 의해 이형에피택셜 성장한 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막 위에 유전성 재성장 마스크를 증착시키는 공정;

(b) 상기 증착된 마스크를 패터닝하는 공정; 및

(c) 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 수직 성장방향에 대해 직각인 방향인 측면으로 과성장하기 전에 상기 마스크의 개부(opening)을 통해 수직으로 자라며 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막을 상기 패터닝된 마스크에 기반을 둔 과성장을 달성하기 위해 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)에 의해 선택적으로 재성장시켜 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막의 실전위 밀도를 감소시키는 공정을 포함하는 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막의 실전위 밀도 감소 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 (a)공정의 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 시드 층인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 (a)증착 공정은 플라즈마 증강 화학 기상 증착법(PECVD)을 이용하여 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막 위에 상기 유전성 재성장 마스크를 증착시키는 공정을 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 증착된 마스크는 여러 가지 결정학적 방향으로 배향된 스트라이프 개구부로 패터닝된 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 과성장은 측면성 과성장 III족 질화물이 성형된 스트라이프를 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1 항에 있어서, 측면성 과성장 영역은 상기 마스크의 개구부를 통해 수직으로 성장하는 영역과 비교하여, 감소된 전위 밀도를 포함한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 전위는 상기 성장 막 내 수직으로 전위가 전달되는 것을 블록킹하는 상기 마스크에 의해 상기 과성장된 영역에서 감소되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서, 전위는 수직으로부터 측면 성장까지의 전이를 통해 전위의 구부러짐에 의한 상기 과성장 영역에서 감소되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 과성장층은 측면성 에피택셜 과성장층을 이용하여 수행된 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 과성장층은 캔틸레버 에피택시, 이중 측면 에피택셜 과성장층(이중 LEO), 및 SiN 나노마스크으로 구성된 군으로부터 선택된 방법을 사용하여 수행된 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

청구항 제1항에 따른 방법을 이용하여 제조된 장치.

청구항 13

(a) r-면 사파이어 기판상에서 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)에 의해 이형에피택셜 성장한 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막 위에 유전성 재성장 마스크를 증착시키는 공정;

(b) 상기 증착된 마스크를 패터닝하는 공정; 및

(c) 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 수직 성장방향에 대해 직각인 방향인 측면으로 과성장하기 전에 상기 마스크의 개부(opening)을 통해 수직으로 자라며 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막을 상기 패터닝된 마스크에 기반을 둔 과성장층을 달성하기 위해 유기금속 화학기상 증착법(MOCVD)에 의해 선택적으로 재성장시켜 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막의 실전위 밀도를 감소시키는 공정을 이용하여 막을 형성함을 특징으로 하는 감소된 실전위를 갖는 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 상기 (a)공정의 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 시드 층인 것을 특징으로 하는 막.

청구항 15

제 13 항에 있어서, 상기 (a)증착 공정은 플라즈마 증강 화학기상증착법 (plasma enhanced chemical vapor deposition; PECVD)에 의하여 상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막 상에 상기 유전성 재성장 마스크를 증착시키는 공정을 포함함을 특징으로 하는 막.

청구항 16

제 13 항에 있어서, 상기 증착 마스크는 여러 가지 결정학적 방향으로 배향된 스트라이프 개구부들로 패터닝됨을 특징으로 하는 막.

청구항 17

제 13 항에 있어서, 상기 과성장 단계는 스트라이프가 형성된 측면성 과성장 III족 질화물을 포함함을 특징으로 하는 막.

청구항 18

삭제

청구항 19

제 13 항에 있어서, 측면성 과성장 영역은 상기 마스크의 개구부를 통하여 수직 성장한 영역과 비교하여 감소된 전위밀도를 포함함을 특징으로 하는 막.

청구항 20

제 19 항에 있어서, 전위는 상기 성장 막에 수직으로 전위의 전달을 블록킹하는 상기 마스크에 의해 상기 과성장 영역에서 감소됨을 특징으로 하는 막.

청구항 21

제 19 항에 있어서, 전위는 수직으로부터 측면성장 쪽으로 전이를 통한 전위의 구부러짐에 의해 상기 과성장 영역에서 감소됨을 특징으로 하는 막.

청구항 22

제 13 항에 있어서, 상기 과성장은 측면성 에피택셜 과성장을 이용하여 실시됨을 특징으로 하는 막.

청구항 23

제 13 항에 있어서, 상기 과성장은 캔틸레버 에피택시(cantilever epitaxy), 이중 측면성 에피택셜 과성장(double lateral epitaxial overgrowth; double LEO), 및 SiN 나노마스킹(nanomasking)을 포함한 군으로부터 선택된 방법을 이용하여 실시됨을 특징으로 하는 막.

청구항 24

$2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 미만의 전위 밀도를 가지며 r-면 사파이어 기판상에서 성장된 무극성 a-면 III족 질화물 위에 성장된 (Al,B,In,Ga)N계 또는 III족 질화물계 장치.

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

제 24 항에 있어서, 상기 장치는 유기금속 화학 기상 증착법(MOCVD) 또는 분자빔 에피택시(MBE)를 사용하여 성장되는 것을 특징으로 하는 (Al,B,In,Ga)N계 또는 III족 질화물계 장치.

청구항 28

제 24 항에 있어서, 상기 장치는 InGaN계 발광 다이오드 또는 레이저 다이오드인 것을 특징을 하는 (Al,B,In,Ga)N계 또는 III족 질화물계 장치.

청구항 29

제 24 항에 있어서, 상기 장치는 AlGaIn 또는 GaN 고전자 이동성 트랜지스터(HEMT)이거나 이형접합 쌍극자 트랜지스터(HBT)인 것을 특징을 하는 (Al,B,In,Ga)N계 또는 III족 질화물계 장치.

청구항 30

1항에 있어서,

(d) 공정에서 형성된 상기 평면 무극성 III족 질화물 상에서 하나 또는 둘 이상의 장치 층을 성장시키는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 31

13항에 있어서,

(d) 공정에서 형성된 상기 평면 무극성 III족 질화물 상에서 하나 또는 둘 이상의 장치 층을 성장시킨 막.

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

1항에 있어서,

상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 무극성 a-면 갈륨 질화물 막인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 35

13항에 있어서,

상기 평면 무극성 a-면 III족 질화물 막은 무극성 a-면 갈륨 질화물 막인 것을 특징으로 하는 막.

청구항 36

삭제

청구항 37

24항에 있어서,

상기 무극성 a-면 III족 질화물은 무극성 a-면 갈륨 질화물 막인 것을 특징으로 하는 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반도체 재료, 방법, 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무극성 질화 갈륨(GaN) 박막의 전위 감소에 대한 것이다.

배경기술

[0002] 관련 출원과의 상호 참조

[0003] 본 출원은 본 명세서 내 참고자료로 편입되는, 대리인 관리번호 제30794.95-US-P1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일자로 출원된, "무극성 질화갈륨계 박막 및 이형구조 재료"로 명칭되고, 출원 계속중이며 일반적으로 할당되는 미합중국 임시특허출원 제60/372,909호에 의한 35 U.S.C. § 119(e)에 따른 이익을 향유한다.

[0004] 본 출원은 하기의 출원 계속중이고 일반적으로 할당되는 미합중국 실용특허출원:

[0005] 대리인 관리번호 제30794.101-US-U1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 동일자로 출원되어, "무극성 (Al,B,In,Ga)N 양자우물 및 이형구조 재료 및 장치"라 명칭된, 일련번호 제___/___,___호; 및

[0006] 대리인 관리번호 제30794.100-US-U1호로서, Michael D.Craven와 James S.Speck에 의해 동일자로 출원된, "유기 금속 화학 기상 증착법에 의해 성장된 무극성 A면 질화갈륨 박막"으로 명칭된, 일련번호 제___/___,___호; 와 관련된 것으로서, 상기 출원 모두 본 발명의 참고자료에 편입된다.

[0007] (주: 본 출원은 하나 이상의 참조번호로 본 명세서 전체를 통해 표시된 바와 같이 상당수 다른 특허, 특허출원 및/또는 공보를 참고하였다. 상기 참조번호에 따라 정렬된 상기의 다른 공보 목록은 하기의 "참고문헌"이라 명명된 부분에서 찾을 수 있다. 상기 각각의 공보는 참고문헌으로서 이곳에 통합된다.)

[0008] 현재까지의 질화물계 소자는 극성 c-면[0001]을 따라 성장된 이형구조를 사용함으로써, 상기 성장 방향에 평행인 강한 정전기장을 초래한다. 참고문헌 1-7을 참조하라. 상기 "내장형" 정전기장은 c-면(0001) 질화물 구조 내 계면 및 표면에서 편극 불연성과 관계된 고정 시트 전하에 의해 만들어진다.

[0009] 상기 편극으로 유발된 전기장은 현재의 최신 기술의 광전자 및 전자 질화물 소자의 성능에 영향을 미친다. 예를 들면, 상기 편극장은 양자우물(QW) 구조의 전자 및 홀 파동 함수를 공간적으로 분리시킴으로써, 레이저 다이오드 및 발광 다이오드(LED)와 같은 QW 기저 소자의 캐리어 재결합 효율을 감소시킨다. 부가적으로, 상기 편극장은 질화물 이형구조를 사용하는 트랜지스터 구조의 이동성이 큰 전하 밀도를 유도한다. 총 편극의 불연속성은 상기 대응하는 계면 또는 표면의 고정 시트 전하의 형성을 초래한다.

[0010] 무극성 부르자이트 질화물 반도체 막의 에피텍셜 성장은 질화물 양자 구조의 편극으로 유발되는 전기장을 제거하는 유력한 수단을 제공한다. 상술한 관련 출원에서, 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 막(이하, a-GaN이라 일컫는다)은 유기금속 화학 기상 증착법(MOCVD)를 이용하여 $(1\bar{1}02)$ r-면 사파이어 기판 위에서 성장되었다. 참고문헌 13을 참조하라. 그러나, 상기 막들에 현재하는 실전위 밀도(threading dislocation density)는 대략 $2.6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 인 것으로 결정되었다. 무극성 질화물 층의 장점을 완전히 실현하기 위해서는, 에피텍셜 막 품질에 대한 개선이 필요하고, 특별히 전위 밀도에 대한 감소가 필요하다. 특히, 상기 막의 결정 품질을 개선하는 것이 편극으로 유발되는 전기장으로부터 자유롭게 동작하는 고성능 질화물 장치를 실현시키는 데 근본적이다.

[0011] 비록 여러 가지 기술들이 증명해 보였지만, 측면성 과성장 극성 GaN 막에서의 전위 감소가 광범위하게 연구되었다. 참고문헌 8-11를 참조하라. 다양한 측면성 과성장 기술을 통해 얻은 저전위 밀도 기판은 질화물계 광전자 공학의 획기적인 성능에 직접적인 책임이 있으며, 수명 지속파인 InGaN 레이저 다이오드를 증강시켰던 것이 가장 주목된다. 참고문헌 12를 참조하라.

[0012] 측면성 과성장 기술은 종래 기술 분야에서는 꽤 알려져 있다. 예를 들면, 측면성 과성장 기술은 극성 c-면(0001) GaN 막의 전위 감소에 대해서 철저하게 연구되어 왔다. 특별한 과성장 기술은 에피텍셜 측면성 과성장(ELO 또는 ELOG) 및 PENDEO® 에피택시로도 알려져 있는 측면성 에피텍셜 과성장(LEO)을 포함한다. 상기 공정간의 차이점에도 불구하고, 전위 감소는 공통의 메카니즘, 주로 마스크 블로킹(mask blocking) 및 전위 구부러짐(dislocation bending)에 의해 달성된다. 참고문헌 11 및 19를 참조하라.

[0013] 그러나, 본 발명은 a-GaN 막에 대한 신규한 방법출원이다. 특히, 본 발명은 실전위 감소를 달성하는 a-GaN 시드 층(seed layer)을 사용한 LEO 방법을 상술한다. 저전위 밀도 a-GaN은 고성능, 편극 유발장이 없는 (Al,B,In,Ga)N계 장치용 완충층으로서 사용될 수 있다.

발명의 상세한 설명

[0020] 발명의 요약

[0021] 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 박막의 측면성 에피텍셜 과성장은 상기 GaN 막의 실전위를 감소시킨다. 첫번째로, 얇게 패터닝(patterning)된 유전성 마스크가 상기 시드 층에 적용된다. 두번째로, 선택성 에피텍셜 재성장이 상기의 패터닝된 마스크에 기반을 둔 측면성 과성장을 달성하기 위해 수행된다. 재성장이 되면, 상기 GaN 막이 상기 유전성 마스크의 개구부를 통해 수직으로 성장하게 되고, 그 후 상기 수직 성장 방향에 횡적인 방향

으로 상기 마스크를 측면성 과성장시킨다. 실전위는 (1) 상기 성장 막으로의 수직적인 전위의 전달을 차단하는 마스크 및 (2) 수직으로부터 측면성장까지의 전위를 통한 전위 구부러짐에 의해 상기 과성장 영역에서 감소된다.

[0022] 발명의 상세한 설명

[0023] 바람직한 실시예에 따른 이하의 상세한 설명에서, 참고문헌은 본 명세서의 일부분을 구성하는 첨부도면에 만들어진 것이고, 본 발명이 구현될 수 있는 특정의 실시예를 설명하는 방식으로 나타낸다. 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다른 실시예들이 이용될 수 있으며 구조적인 변화가 있을 수 있을 것으로 이해된다.

[0024] 개요

[0025] 본 발명은 평면 이형에피텍셜 "시드" 층의 측면성 과성장을 통해 a-GaN의 실전위 밀도를 감소시킨다. 측면성 과성장 기술은 두개의 MOCVD 성장 단계, 초기 이형에피텍셜 성장 및 상기 측면성 과성장을 구성하는 재성장 단계를 포함한다. 첫번째로, 얇게 패터닝된 유전성 마스크가 시드 층에 적용된다. 재성장이 되면, 상기 GaN 이 초기에 상기 유전성 마스크의 개구부를 통해 수직으로 성장하고, 그 이후 상기 수직 성장 방향에 횡적인 방향으로 상기 마스크를 측면성 과성장시킨다. 상기의 적절한 마스크 및 재성장 조건과 더불어, 상기 마스크의 개구부를 통해 수직 성장하는 영역과 비교해 전위 밀도는 상기 수직 성장 영역에서 감소된다.

[0026] 단계별 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 평면 이형에피텍셜 "시드" 층의 측면성 과성장을 통해 a-GaN의 실전위 밀도를 감소시키기 위한 각 공정을 도시한 흐름도이다.

[0028] 블록 100은, 모두 본 발명의 참고자료로 편입되는 출원으로서, 대리인 관리번호 30794.95-US-P1호로서, Michael D.Craven, Stacia Keller, Steven P.DenBaars, Tal Margalith, James S.Speck, Shuji Nakamura, 그리고 Umesh K. Mishra에 의해 2002년 4월 15일자로 출원된, "무극성 질화갈륨계 박막 및 이형구조 재료"로 명칭되고, 출원 계속중이고 일반적으로 할당되는 미합중국 임시특허출원 제60/372,909호 뿐만 아니라, 대리인 관리번호 제 30794.100-US-U1호로서, Michael D.Craven와 James S.Speck에 의해 동일자로 출원된, "유기금속 화학 기상 증착법에 의해 성장된 무극성 A면 질화갈륨 박막"으로 명칭되고, 출원 계속중이고 일반적으로 할당되는 미합중국

실용특허출원 제____/____,____호에 기술된, MOCVD를 이용하여 $(1\ \overline{102})$ r-면 사파이어 기판 위의 무극성 $(11\ \overline{20})$ a-면 박막을 성장시키는 공정을 나타낸다. 상기 이형에피텍셜 성장된 무극성 $(11\ \overline{20})$ a-면 GaN 박막은 본 발명의 측면성 과성장용 "시드 층"을 포함한다.

[0029] 블록 102는 플라즈마 증강 화학 기상 증착법(PECVD)을 이용하여 무극성 $(11\ \overline{20})$ a-면 GaN 막 위의 유전성 재성장 마스크를 증착시키는 공정을 나타낸다. 바람직한 실시예에서, 상기 마스크는 200 나노미터(nm)의 SiO₂로 구성되나, 이에 한정되지 않는다.

[0030] 블록 104는 상기 증착된 마스크를 패터닝(patterning)하는 공정을 나타내는 것으로, 상기 패턴은 완충 불화수소 산과 함께 종래의 광식각 기술 및 습식 에칭을 사용하여 상기 SiO₂에 패터닝된다. 바람직하게는, 상기 증착된 마스크는 여러 가지 결정학적인 방향으로 배향된 길고 좁은 스트라이프 개구부에 패터닝된다.

- [0031] 상기 마스크를 패터닝한 이후, 블록 106은 용매를 사용하여 상기 시료를 세척하는 것을 나타낸다.
- [0032] 블록 108은 상기 패터닝된 마스크에 기반을 둔 상기 측면성 성장을 달성하기 위해 선택적 에피택셜 성장을 수행하는 공정을 나타내는 것으로, 상기 질화갈륨이 초기에 상기 마스크의 개구부를 통해 수직 성장하고, 그 이후 수직 성장 방향에 횡적인 방향으로 상기 마스크를 측면성 과성장시킨다. 전위밀도는 상기 마스크의 개구부를 통해 수직 성장하는 영역과 비교하여 상기 측면성 과성장 영역에서 감소된다. 더욱이, 전위는 상기 막 내로의 수직적인 전위의 전달을 차단하는 마스크에 의해 그리고 수직으로부터 측면 성장까지의 전이를 통한 전위 구부러짐에 의해 상기 과성장 영역에서 감소된다.
- [0033] 바람직하게는, 블록 108은 상기 사파이어 기판 위의 이형에피택셜 성장용으로 사용되는 동일한 반응로 조건, 비록 조건을 변경하여 사용할 수 있지만, 즉, $\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 성장 온도, ~ 1300 V/III 비율, 및 ~ 0.1 기압(atm) 성장 압력, 을 사용한다.
- [0034] 블록 110은 결과적인 측면성 과성장을 나타내는 것으로, 상기 측면성 과성장은 하부 마스크 패턴에 의해 결정된 바에 따라, 측면성 과성장 GaN 성형 스트라이프를 포함한다. 상기 과성장 스트라이프 형태(morphology)는 상기 마스크 스트라이프의 결정학적 배향에 의존한다. 예를 들면, $[1\bar{1}00]_{\text{GaN}}$ 에 정렬된 스트라이프들은 직사각형 단면을 가지고, 상기 과성장 영역에서 실질적인 전위 감소를 나타낸다.
- [0035] 상기 방법을 사용하여 제작될 수 있는 잠재적인 장치로는 UV 및 인접-UV 광검파기 뿐만 아니라, 레이저 다이오드(LD), 발광 다이오드(LED), 공진 공동 LED(RC-LED), 수직 공동 표면 방출 레이저(VCSSEL), 고전자 이동성 트랜지스터(HEMT), 이형접합 쌍극자 트랜지스터(HBT), 이형접합 계장 효과 트랜지스터(HFET)를 포함한다.
- [0036] 실험 결과
- [0037] 측면성 에피택셜 성장이 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 막의 실전위 밀도를 감소시키는데 성공적이었다는 것을 실험결과는 밝혀준다. 본 설명부에서는 결정학적인 스트라이프(stripe) 배향 위의 형태 의존성 및 결함 감소에 대해 보고한다.
- [0038] $[0001]$ 및 $[\bar{1}100]$ 에 따라 정렬된 스트라이프들은 가장 선호하는 a-면 GaN LEO 스트라이프 배향으로서, 잘 가동된 대칭적인 형태를 갖는다. 최적의 직사각형 단면을 갖는 $[\bar{1}100]$ 스트라이프들을 위한 전송 전자 현미경(TEM)으로 마스크 블록킹 공정을 이용한 실전위 감소를 관찰하였다. 양극발광(cathodoluminescence; CL) 연구는 창 영역과 비교해서 과성장 영역에 대해 증가된 발광을 보여주었다. 상기 스트라이프들의 측면성 과성장 정도는 상기 수직 c-면 측면의 반대 극성으로 인해 비대칭적이었다. 반대로, $[0001]$ 스트라이프들의 대칭적 과성장 영역으로 전달된 실전위는 공존하는 경사지고 수직적인 $\{10\bar{1}0\}$ 소면(facet)을 갖는다.
- [0039] 5 kV에서 작동시킨 JEOL 6300TM 계장 방출 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 사용하여 상기 스트라이프 형태를 관찰하였다. 200 kV에서 작동시킨 JEOL 2000FXTM 전송 전자 현미경(TEM)을 사용하여 단면에서 상기 측면성 과성장의

미세구조를 분석하였다. 상기 JEOL 6300TM FE-SEM에 부착된 Gatan MonoCL™을 사용하여 실온에서 양극발광(CL) 이미지를 얻었으며, 상기 측면성 과성장 스트라이프로부터 발광의 공간 지도가 제공되었다.

[0040] 측면성 과성장 c-면 GaN에 대해 보여진 것과 같이, 상기 마스크 스트라이프 개구부의 상기 결정학적 배향은 성형되는 면과 상기 측면 과성장의 특성을 나타낸다. 참고문헌 14를 참조하라. 상기 측면성 과성장 a-GaN의 배향 의존성을 조사하기 위해, "마차 바퀴(wagon wheel)" 디자인을 성형하는 직사각형 마스크 개구부(창)의 배열로 상기 SiO₂ 마스크를 패터닝하였다. 상기 마차 바퀴 모양을 성형했던 창은 결정학적 마스크 배향의 범위가 단일 MOCVD 성장에서 분석될 수 있도록 5 μm 폭과 5° 간격으로 배향되었다. 상기 실험적인 디자인은 선형 마스크 개구부로부터의 측면성 과성장 c-면 GaN의 초기 조사용으로 사용된 것과 유사하다. 참고문헌 14 및 15를 참조하라.

[0041] 도 2는 a-GaN LEO 마차 바퀴 모양의 반을 보여주는 평면 주사 전자 현미경(SEM) 이미지 몽타주이다. 0°가 상기 GaN c-축 [0001]에 부합하는 상기 마차 바퀴 모양의 기준으로 용이하게 하기 위해 상기 각도를 포함하였다. 단일 마차 바퀴 모양의 180° 시각인 도 2에 나타난 상기 스트라이프 배향 의존성에서 (상기 c-GaN 표면에 관하여) 상기 a-GaN 표면의 감소된 대칭성은 명백하다. 우선, 상기 평면 SEM 이미지는 모든 가능한 스트라이프 배향에 대해서 발생한 측면성 과성장을 나타낸다. 좀더 면밀히 관찰하면, 3 개의 스트라이프 배향이, [0001]에 평행이고, 45° 벗어난, 그리고 상기 GaN c-축(상기 $[\bar{1}100]$ 방향에 평행인 스트라이프)에 수직인: 작은 면의 측면이 없이 균일한 형태를 가졌다. 상기 c-축에 대해 45° 벗어나 배향된 스트라이프들이, 상기 결정학적 방향이 상기 c-축과 46.8°의 각을 만들기 때문에, $[\bar{1}101]$ 스트라이프로 색인을 달았다. 도 2는 상기 스트라이프 배향이 [0001]로부터 $[\bar{1}100]$ 으로 바뀔 때, 최대폭이 상기 c-축으로부터 70° 벗어나게 정렬된 스트라이프에 도달했을 때까지 상기 스트라이프 폭이 증가되었다는 것을 보여준다. 상기 최대값에 도달한 후, 상기 스트라이프 폭은 $[\bar{1}100]$ 에 도달할 때까지 감소하였다. 상기 막/기판 시스템의 대칭성이 c-GaN과 비교하여 감소되었기 때문에 특징의 결정학적인 색인이 본 상세한 설명을 총괄하여 일관되게 사용된 점을 주목하라.

[0042] A-GaN LEO 형태학상 스트라이프 배향의 효과를 분명하게 관찰하기 위해 추가적인 투시도가 필요하다. 도 3(a), (b) 그리고 (c)는 각각 [0001], $[\bar{1}101]$, 그리고 $[\bar{1}100]$ 에 평행하게 배향된 3 개의 스트라이프 경사도를 갖는 일련의 SEM 이미지로, 상기 이미지는 도 2의 0°, 45°, 및 90° 배향 라벨과 일치한다(그리고 55μm를 나타내는 척도 기준(scale bar)을 갖는다).

[0043] 사용된 성장 조건에 대해, [0001] 및 $[\bar{1}101]$ 스트라이프는 경사지고 수직인 측면의 여러 가지 조합을 가졌다. 특히, 상기 [0001] 스트라이프에 대해서는 대칭적 형태가 관찰된 반면, 상기 $[\bar{1}101]$ 스트라이프는 하나의 초미세면의 수직 $(1\bar{1}02)$ 측면과 하나의 경사진 $(1\bar{1}02)$ 측면의 비대칭적 형태를 가졌다. 상기 [0001] 스트라이프는 $\{10\bar{1}0\}$ 면의 동일한 결정학적 군으로부터 공존하는 수직이고 경사진 소면을 가지고 있었다. 반대로, $[\bar{1}100]$ 스트라이프는 수직(0001) 기저의

평면 측벽과 함께 직사각형 단면을 가지고 있었다. 전반적으로, $[0001]$ 및 $[\bar{1}100]$ 스트라이프 배향은 균일하고, 대칭적인 형태를 산출했다.

[0044] 도 4(a), (b) 그리고 (c)는 $[\bar{1}100]$ 스트라이프의 단면 TEM 이미지로, 도 4(a)는 상기 비대칭 과성장 영역의 실전위 감소를 나타낸다. 도 4(a)의 점선으로 구획된 마스크 가장자리 영역의 확대도를 도 4 (b) $[\bar{1}100]$ 및 도 4 (c) $[0001]$ 에 나타냈다. 전위선이 상기 창 영역으로부터 $[0001]$ 에 따라 정렬된 스트라이프용 상기 과성장 영역으로 구부러진 반면, $[\bar{1}100]$ 스트라이프에 대해서는 전위 구부러짐은 관찰되지 않는다. 도 4(a), (b) 및 (c)는 여러 가지 회절 조건: 도 4(a) $g=1120$, 도 4(b) $g=0006$, 및 도 4(c) $g=01\bar{1}0$, 을 갖는 밝은 계장(field) 이미지이다. 비록 상기 이미지화된 스트라이프가 (마차 바퀴 패턴이 아니라) 평행한 스트라이프 패턴으로부터인 것이라도, 상기 마스크 스트라이프 패턴에 관계없이 유사한 형태가 관찰되었다.

[0045] 도 4(a)의 단면 TEM 이미지에 나타난 바와 같이, 실전위(TD) 감소가 $[\bar{1}100]$ 에 따라 정렬된 LEO 스트라이프에 대해서 관찰되었다. 도 4(b)에 나타난 바와 같이, 어떠한 전위도 상기 측면성 과성장 방향으로의 구부러짐은 관찰되지 않았기 때문에 마스크 블록킹이 주요한 전위 감소 메커니즘이다. $[\bar{1}100]$ 스트라이프와는 다르게, 전위가 $[0001]$ 을 따라 정렬된 스트라이프의 과성장 영역으로 전달되었던 것을 도 4(c)가 보여준다. 비록 상기 전위 구부러짐에 대한 정밀한 출처는 아직 알려져 있지 않지만, 상기 $[0001]$ 스트라이프 배향에 대한 경사진 소면의 안정성이 중요한 역할을 할 것으로 짐작된다.

[0046] TD 감소 외에, 도 4 (a)는 $[\bar{1}100]$ 스트라이프에 대한 측면성 과성장율의 비대칭성을 드러낸다. 극성 c-면 측벽의 존재가 상기 비대칭성을 설명한다. 상기 스트라이프 방향에 수직인 상기 극성 축과 더불어, 일 측벽은 +c 면 또는 Ga-면이고, 한편 반대 측벽은 -c 면 또는 N-면이다. 예상된 바와 같이, 상기 Ga-면 측벽은 상기 N-면 측벽보다 성장조건에 따라 ~10 인자만큼 더 빠르게 성장했다. 수렴성 빔 전자 회절 측정법을 이용하여 r-사파이어 위의 a-GaN의 극성을 미리 결정하였다는 것에 주의하라. 참고문헌 13을 참조하라. 극성이 상기 $[\bar{1}100]$ 스트라이프의 측면성 과 성장에 중요한 영향을 미치기 때문에, 도 2 및 3에서 관찰된 비대칭 형태는 상기 구조의 낮은 대칭성과 관계가 있을수도 있다.

[0047] 극성 GaN에 대한 측면성 과성장 비대칭성의 추가적인 증거자료로 $[0001]$, $[\bar{1}101]$, 및 $[\bar{1}100]$ LEO 스트라이프의 평면 전색성(plan-view panchromatic)의 CL 이미지가 제공되었다. 도 5(a), (b) 그리고 (c)는 $[0001]$, $[\bar{1}101]$, 그리고 $[\bar{1}100]$ 에 평행하게 배향된 스트라이프의 평면 전색성의 CL 이미지인 반면, 도 5(d)는 도 5(a), (b) 그리고 (c)에 대한 결정학적 배향을 도시한 것이다. 도 5(a)-(c)의 CL 이미지는 도 3(a), (b) 및 (c)의 SEM 이미지의 스트라이프와 직접적으로 대응한다(그리고 55 μ m를 나타내는 척도 기준을 갖는다). 각 스트라이프 배향 내의 얼룩덜룩한 영역은 TD가 상기 LED 스트라이프의

최상 표면에 확장되고 방해받지 않는 SiO₂ 마스크의 창을 정의한다. 상기 CL 특성이 극성 GaN LEO 스트라이프에서 관찰되었다. 참고문헌 16-18을 참조하라. 상기 스트라이프 배향의 측면성 과성장 영역 내로 구부러지는 전위의 TEM 관찰에 부합하는 상기 [0001] 스트라이프의 전체 폭을 가로질러 상기 얼룩덜룩한 영역이 확장된다. 도 5 (a)-(c)에 나타낸 [0001] 스트라이프가 작은 측면성 과성장을 가질지라도, 유사한 조건 하에 성장된 더 넓은 스트라이프 측정에서 도 4 (c)에서 관찰된 전위 구부러짐이 확인되었다.

$[\bar{1}100]$ 스트라이프의 과성장 영역으로부터의 균일한 발광에서 상기 지역에 TD가 비교적 없는 것으로 확인되었다. $[\bar{1}100]$ 스트라이프의 측면성 과성장율의 극성의 효과를 또한 선명하게 관찰하였다.

[0048] 요약하면, 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 막의 LEO를 보여주었고, TD 밀도 감소가 달성되었다. 낮은 대칭성 a-GaN 표면은 결정학적 스트라이프 정렬에 의존했던 LEO 스트라이프 형태를 나타내었다. 2 개의 주요한 배향인, $[0001]$ 및 $[\bar{1}100]$ 이 균일하고, 대칭적인 스트라이프 형태; $[\bar{1}100]$ 스트라이프는 수직의 측면을 갖는 반면 $[0001]$ 스트라이프는 공존하는 수직이고 경사진 측면을 갖는 것이 관찰되었다. 전위 감소가 $[\bar{1}100]$ 에서 달성되었고, 반면 전위는 $[0001]$ 스트라이프의 측면 과성장 영역으로 전달되었다. 상기 $[0001]$ 및 $[\bar{1}100]$ 배향 간에, 비대칭 스트라이프 형태가 관찰되었다. 무극성 측면 성장 조건을 갖는 $[0001]$ 스트라이프를 제외하고, 모든 스트라이프는 비대칭 측면 성장율을 나타냈다. 무극성 GaN LEO의 특유의 구조적 특징을 찾아내기 위해 조사는 계속된다.

[0049] 참고문헌

[0050] 하기 참고문헌은 참조용으로 여기에 편입된다.

- [0051] 1. I. P. Smorchkova, C. R. Elsass, J. P. Ibbetson, R. Vetury, B. Heying, P. Fini, E. Haus, S. P. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, J. Appl. Phys. 86, 4520 (1999).
- [0052] 2. O. Ambacher, J. Smart, J. R. Shealy, N. G. Weimann, K. Chu, M. Murphy, W. J. Schaff, L. F. Eastman, R. Dimitrov, L. Wittmer, M. Stutzmann, W. Rieger, and J. Hilsenbeck, J. Appl. Phys. 85, 3222 (1999).
- [0053] 3. I. J. Seo, H. Kollmer, J. Off, A. Sohmer, F. Scholz, and A. Hangleiter, Phys. Rev. B 57, R9435 (1998).
- [0054] 4. R. Langer, J. Simon, V. Ortiz, N. T. Pelekanos, A. Barski, R. Andre, and M. Godlewski, Appl. Phys. Lett. 74, 3827 (1999).
- [0055] 5. P. Lefebvre, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, N. Grandjean, M. Leroux, J. Massies, and P. Bigenwald, Phys. Rev. B 59, 15363 (1999).
- [0056] 6. P. Lefebvre, A. Morel, M. Gallart, T. Taliercio, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, B. Damilano, N. Grandjean, and J. Massies, Appl. Phys. Lett. 78, 1252 (2001).
- [0057] 7. T. Takeuchi, C. Wetzel, S. Yamaguchi, H. Sakai, H. Amano, I. Akasaki, Y. Kaneko, S. Nakagawa, Y. Yamaoka, and N. Yamada, Appl. Phys. Lett. 73, 1691 (1998).
- [0058] 8. T. S. Zheleva, N. Ok-Hyun, M. D. Bremser, and R. F. Davis, Appl. Phys. Lett. 71, 2472 (1997).
- [0059] 9. N. Ok-Hyun, M. D. Bremser, T. S. Zheleva, and R. F. Davis, Appl. Phys. Lett. 71, 2638 (1997).
- [0060] 10. H. Marchand, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, P. Kozodoy, S. Keller, S. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3, 3 (1998).

- [0061] 11. H. Marchand, X. H. Wu, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, P. Kozodoy, S. Keller, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, Appl. Phys. Lett. 73, 747 (1998).
- [0062] 12. S. Nakamura, M. Senoh, S. I. Nagahama, T. Matsushita, K. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano, and T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 38, L226 (1999).
- [0063] 13. M. D. Craven, S. H. Lim, F. Wu, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, Appl. Phys. Lett. 81, 469 (2002).
- [0064] 14. D. Kapolnek, S. Keller, R. Vetury, R. D. Underwood, P. Kozodoy, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, Appl. Phys. Lett. 71, 1204 (1997).
- [0065] 15. J. Park, P. A. Grudowski, C. J. Eiting, and R. D. Dupuis, Appl. Phys. Lett. 73, 333 (1998).
- [0066] 16. S. J. Rosner, G. Girolami, H. Marchand, P. T. Fini, J. P. Ibbetson, L. Zhao, S. Keller, U. K. Mishra, S. P. DenBaars, and J. S. Speck, Appl. Phys. Lett. 74, 2035 (1999).
- [0067] 17. J. A. Freitas, Jr., N. Ok-Hyun, R. F. Davis, G. V. Saparin, and S. K. Obyden, Appl. Phys. Lett. 72, 2990 (1998).
- [0068] 18. Z. Yu, M. A. L. Johnson, J. D. Brown, N. A. El-Masry, J. F. Muth, J. W. Cook, Jr., J. F. Schetzina, K. W. Haberern, H. S. Kong, and J. A. Edmond, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1, G4.3 (1999).
- [0069] 19. T. S. Zheleva, S. A. Smith, D. B. Thomson, T. Gehrke, K. J. Linthicum, P. Rajagopal, E. Carlson, W. M. Ashmawi, and R. F. Davis, MRS Internet Journal of Nitride Semiconductor Research 4S1 (1999).
- [0070] 결론
- [0071] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상세한 설명을 결론 짓는다. 이하에서는 본 발명을 달성하기 위한 일부 대안적인 실시예들을 기술한다.
- [0072] 측면성 과성장 기술의 중대한 관점은 유전성 마스크 사양 및 MOCVD 재성장 조건이다. 측면 과성장을 위한 효과적인 마스크를 제작하기 위해 여러 가지 유전성 재료, 증착 기술, 및 패터닝 방법을 사용할 수 있다. 또한, 상기 마스크 패턴의 배향, 디자인, 및 치수를 수정하면 부수적인 측면성 과성장 특성이 궁극적으로 결정될 것이다. 전위 감소를 달성하기 위해 그리고 평면막이 재성형되도록 상기 마스크를 완전히 과성장시키기 위해 상기 측면성 과성장기에 대한 충분한 통제가 요구된다. 측면-수직간 성장을 비율 및 측면 소면 안정성을 포함한, 측면성 과성장기에 대한 세부 사항이 MOCVD 재성장 조건을 이용하여 통제된다. MOCVD 성장 조건은 반응로 의존적이고, 특정의 반응로 설계 사이에서 여러 가지일 수 있다. 성장 온도, 성장 압력, V/III 비율, 전구체 유량, 및 원재료와 같은 조건의 근본적인 변화는 본 발명의 잠재적인 수정사항이다.
- [0073] 또한, 대안적인 과성장 방법을 이용하여 상기 전위 감소를 달성할 수 있다. 예를 들면, 캔틸레버(cantilever) 에피택시, 이중 측면성 에피택셜 성장(이중 LEO), 및 SiN 나노마스크 기술이 측면성 에피택셜 과성장기에 대한 대안으로서 사용될 수 있다.
- [0074] 게다가, 무극성 a-면 GaN 박막을 이곳에 기술하였지만, 동일한 기술을 무극성 m-면 GaN 박막에 적용할 수 있다. 더욱이, GaN 박막 대신에 무극성 InN, AlN, 및 AlInGaN 박막을 사용할 수 있다.
- [0075] 끝으로, 사파이어 기판 이외의 기판을 무극성 GaN 성장에 사용할 수 있다. 상기 기판은 실리콘 카바이드, 질화갈륨, 실리콘, 산화아연, 보론 나이트라이드, 리튬 알루미늄네이트, 리튬 니오베이트, 게르마늄, 알루미늄 나이트라이드, 및 리튬 갈레이트를 포함한다.

[0076] 요약하면, 본 발명은 실전위 감소를 초래하는 무극성 $(11\bar{2}0)$ a-면 GaN 시드 층의 측면성 에피택셜 과성장을 기술한다. 첫번째로, 얇게 패터닝된 유전성 마스크가 상기 시드 층에 적용된다. 두번째로, 상기 패터닝된 마스크의 측면성 과성장을 달성하기 위해 선택적인 에피택셜 성장을 수행한다. 재성장이 되면, 상기 GaN 막이 초기에 상기 유전성 마스크의 개구부를 통해 수직으로 성장하고, 그 이후 상기 수직 성장 방향에 횡적인 방향으로 상기 마스크를 과성장시킨다. 실전위는 (1) 상기 성장 막으로의 수직적인 전위의 전달을 블록킹하는 마스크 및 (2) 수직으로부터 측면성장까지의 전이를 통한 전위 구부러짐에 의해 상기 과성장 영역에서 감소된다.

[0077] 도해와 설명을 목적으로 전술한 하나 이상의 본 발명에 따른 실시예들을 제공하였다. 본 발명을 개시된 정확한 형태대로 철저하게 규명해 내거나 제한하기 위한 의도는 아니다. 상기에서 교시된 것에 의해 다양한 변경과 변형이 가능하다. 본 발명의 범위가 상기 상세한 설명에 의해 제한되는 것은 아니며, 오히려 첨부된 청구범위에 의한다.

도면의 간단한 설명

[0014] 이제, 도면을 참조함에 있어, 도면 내 참조번호는 본 명세서의 대응부분을 나타낸다.

[0015] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 평면 이형에피택셜 "시드" 층의 측면성 과성장을 통해 a-GaN의 실전위 밀도를 감소시키기 위한 각 공정을 도시한 흐름도이고;

[0016] 도 2는 a-GaN LEO 마차 바퀴 형태의 반을 보여주는 평면 주사 전자 현미경(SEM) 이미지 몽타주이며;

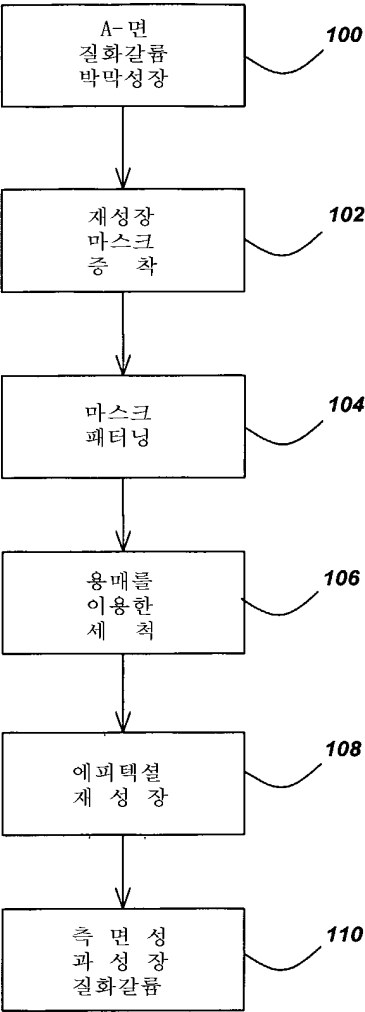
[0017] 도 3(a), (b) 그리고 (c)는 각각 $[0001]$, $[\bar{1}101]$, 그리고 $[\bar{1}100]$ 에 평행하게 배향된 3개 스트라이프 경사도를 갖는 일련의 SEM 이미지이며;

[0018] 도 4(a), (b) 그리고 (c)는 $[\bar{1}100]$ 스트라이프의 단면 TEM 이미지이며; 그리고

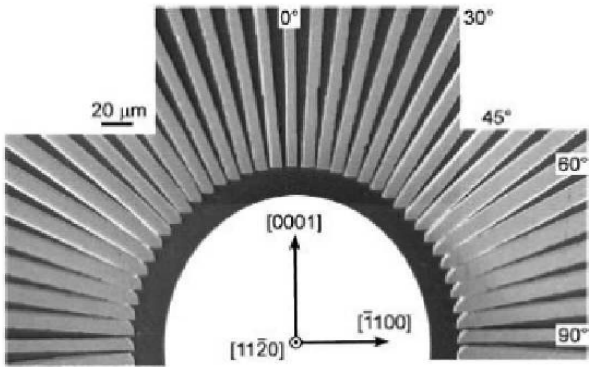
[0019] 도 5(a), (b) 그리고 (c)는 $[0001]$, $[\bar{1}101]$, 그리고 $[\bar{1}100]$ 에 평행하게 배향된 스트라이프의 평면 전색성의 CL 이미지인 반면, 도 5(d)는 도 5(a), (b) 그리고 (c)에 대한 결정학적 배향을 도시한 것이다.

도면

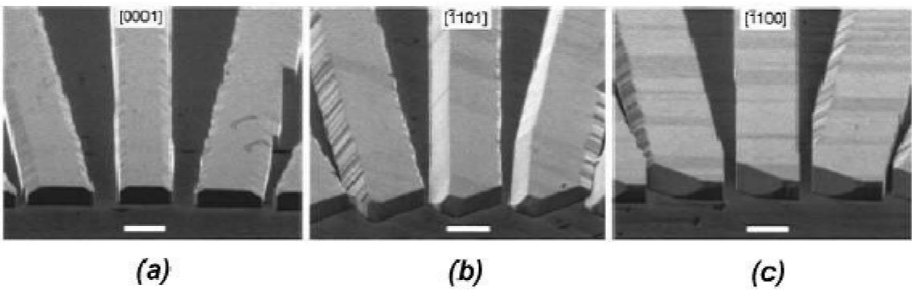
도면1



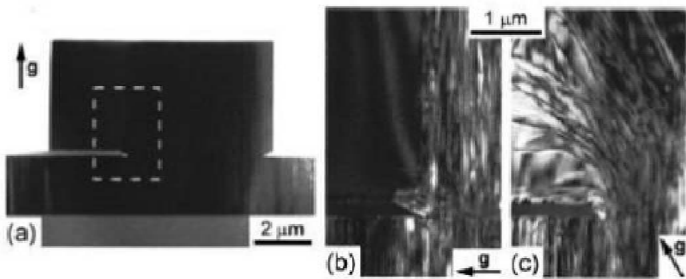
도면2



도면3



도면4



도면5

